

# PROPOSTA DE UM MÉTODO DE SELEÇÃO DO PROCESSO DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA PARA FABRICAR UMA PEÇA A PARTIR DE ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

**Caue Goncalves Mancares (EP-USP)**

cmancares@gmail.com

**Juliana Cavalcante da Silva (EP-USP)**

julianacavalcante1992@gmail.com

**Eduardo de Senzi Zancul (EP-USP)**

ezancul@usp.br

**Paulo Augusto Cauchick Miguel (UFSC)**

cauchick@deps.ufsc.br



*A prototipagem rápida é utilizada para fabricação de grande variedade de peças geralmente em baixa escala de produção. Recentemente, a prototipagem rápida tem ganhado maior destaque com o surgimento de máquinas mais simples e acessíveis conhecidas como impressoras 3D. Ao mesmo tempo, são também lançadas novas tecnologias que ampliam a aplicação da prototipagem rápida para uma ampla gama de materiais relevantes para a indústria. Apesar dessas novas tecnologias despertarem interesse nas empresas, poucas pesquisas avaliam quais processos de prototipagem rápida são mais indicados para produzir uma determinada peça com base em suas características. Neste cenário, este trabalho apresenta um método de seleção do processo de prototipagem rápida a partir das especificações técnicas de uma peça. A abordagem desenvolvida utiliza o AHP (Analytic Hierarquy Process). Por meio de um levantamento das tecnologias de prototipagem rápida existentes no mercado e dos principais fabricantes de máquinas são identificados os parâmetros relevantes das principais máquinas comercializadas. Tais parâmetros são consideradas na seleção das máquinas capazes de fabricar uma determinada peça considerando as suas especificações. Os resultados obtidos em uma aplicação prática do método demonstram que a resposta foi adequada.*

*Palavras-chaves: Prototipagem rápida; Impressão 3D; Seleção por multicritério*

## 1. Introdução

A indústria de manufatura passa por uma revolução ocasionada pela tendência recente de produção de produtos customizados, em escalas muito menores e de maneira mais flexível (THE ECONOMIST, 2012). Essa revolução é evidenciada pela evolução das tecnologias de prototipagem rápida por adição de material, genericamente chamadas de impressão 3D, e que até recentemente eram limitadas aos projetos sofisticados de grandes empresas, dado o alto investimento envolvido. A nova geração de máquinas de impressão 3D de baixo custo (equipamentos de até R\$ 5 mil) permite a disseminação da produção de pequenos lotes de forma economicamente viável (BARIFOUSE, 2012; BERGER, 2012). A partir de um modelo CAD é possível produzir a peça projetada em uma impressora 3D utilizando o conceito de manufatura aditiva. A manufatura aditiva corresponde ao processo de construção de objetos sólidos pela deposição de partículas menores (WHOLERS, 2012). Este processo elimina a necessidade de ferramentas customizadas de produção e reduz o custo e o tempo para produzir itens únicos.

Recentemente, destaca-se um crescente interesse das empresas em adotar tecnologias de impressão 3D no processo de desenvolvimento de produtos (MARTINS, 2005). A adoção de tais tecnologias é uma forma de otimizar esse processo, reduzindo o tempo de desenvolvimento e por consequência adiantando o lançamento do produto no mercado (BROWN, 2009). Neste cenário, observa-se que, apesar destas novas tecnologias despertarem grande interesse das empresas, poucas pesquisas avaliaram quais processos de fabricação são mais indicados para produzir uma determinada peça (para um exemplo ver WANG et al., 2012) e tampouco fizeram um levantamento recente do mercado para identificar as tecnologias existentes. Visando contribuir com o preenchimento dessa lacuna de pesquisa, este trabalho objetiva demonstrar um método de seleção do processo de prototipagem rápida a partir dos requisitos de uma peça.

O trabalho é motivado pela dificuldade encontrada por novos usuários de prototipagem rápida em definir com segurança o processo e, conseqüentemente, a máquina de impressão 3D que melhor se adequa aos requisitos da peça que se deseja fabricar, problema que tende a se intensificar com

a difusão desses processos. Para isso, foi desenvolvida uma abordagem usando o AHP (*Analytic Hierarchy Process*). Por meio de um levantamento das tecnologias existentes no mercado e dos principais fabricantes de máquinas foi possível levantar as características técnicas relevantes das principais máquinas comercializadas. Tais características são consideradas na seleção das máquinas capazes de fabricar determinada peça.

O presente trabalho é estruturado em 5 itens. O próximo item apresenta uma síntese bibliográfica sobre métodos de impressão 3D. O item 3 discute o método de desenvolvimento da solução proposta pelo trabalho, apresentando o método de seleção AHP, a lógica da solução desenvolvida, os fatores restritivos para seleção das máquinas e o método multicritério de seleção. Em seguida, o item 4 apresenta o levantamento de dados do mercado, descrevendo a construção de uma base de dados de máquinas de impressão 3D, a análise de critérios de peças e também apresenta uma peça impressa por uma máquina escolhida utilizando a solução desenvolvida. Por fim, o item 5 apresenta as conclusões do trabalho.

## 2. Revisão bibliográfica

Este item apresenta uma síntese da bibliografia fundamental de métodos de impressão 3D. Nos subitens que seguem são analisados os processos de estereolitografia (SLA), impressão tridimensional (TDP), sinterização seletiva a laser (SLS), modelação por extrusão de plástico (FDM) e manufatura de objeto em lâminas (LOM). Estes métodos foram selecionados para estudo pois são as tecnologias presentes no mercado brasileiro e, portanto, acessíveis aos autores e a comunidade nacional. Os métodos de sinterização direta de metais a laser (DMLS), fundição seletiva de metais (SLM), fundição por arco elétrico (EBM) e sinterização de plástico à laser (PLS), não disponíveis, não foram analisados.

### 2.1 Estereolitografia (SLA)

Este processo pioneiro, patenteado em 1986, deflagrou a revolução da prototipagem rápida. O processo constrói modelos tridimensionais a partir de polímeros líquidos sensíveis à luz, que se solidificam quando expostos à radiação ultravioleta (GORNI, 2001). Segundo a empresa Artis (2006), o sistema tradicional é composto por uma cuba preenchida com resina fotossensível, no interior da qual há uma plataforma que se movimenta de cima para baixo. O processo inicia-se com a leitura da primeira camada do modelo virtual a ser polimerizada e, a partir dessa interpretação, realiza-se o posicionamento da plataforma e o direcionamento do feixe de laser seguindo os padrões do modelo. Atingida pelo laser, a resina solidifica-se, concluindo a primeira camada. Depois disso, a plataforma desce e submerge a camada recém-conformada na resina líquida. O processo repete-se até que todas as camadas do modelo sejam conformadas, momento em que o modelo sólido é removido, lavado e introduzido em um forno de radiação para a cura completa.

Embora a aplicação da tecnologia SLA seja limitada a polímeros fotossensíveis, Kruth et al. (1996) argumentam que essa restrição estimula o desenvolvimento de novos fotopolímeros, que apresentam maior qualidade superficial e precisão e melhor acabamento quando submetidos ao processo. Além da limitação de material, os principais problemas na utilização dessa tecnologia são (VOLPATO, 2007): a necessidade de preenchimento de regiões não conectadas à peça, causando desperdício de material, o pós-processamento para a remoção desses preenchimentos; e a necessidade de pós-cura para melhorar o acabamento das peças. Por outro lado, Lino e Neto (2000) apontam como grandes vantagens da Estereolitografia a possibilidade de se criar modelos com elevada complexidade, graças à baixa viscosidade das resinas utilizadas, e à capacidade de gerar peças ocas.

## 2.2 Impressão Tridimensional (TDP)

Com funcionamento semelhante ao das impressoras comuns, as máquinas que utilizam a tecnologia de impressão tridimensional têm como principal elemento um cabeçote que direciona um agente aglutinante sobre camadas de material pulverulento. Grimm (2005) descreve que um

jato de agente aglutinante é direcionado, conforme o modelo virtual, a um reservatório contendo pó cerâmico ou polimérico. Quando o jato incide no material, a plataforma sobre a qual o modelo repousa desce e uma nova camada de material pulverulento é depositada sobre a fatia recém-conformada. O processo é, então, repetido até que todo o modelo 3D seja construído.

Segundo Martins (2005), existem máquinas específicas para a fabricação de peças com plásticos, cerâmicas e metais, além de aplicações especiais utilizando materiais biocompatíveis para a construção de próteses, por exemplo. A vantagem de possuir maior gama de materiais é potencializada, segundo Lino e Neto (2000), pelo desenvolvimento de máquinas que apresentam mais de um cabeçote, permitindo a utilização de diferentes agentes ligantes em uma mesma peça. Essa característica permite que a tecnologia de TDP produza peças de diferentes composições simultaneamente, além de possibilitar a impressão multicolorida destas. Em contraposição, Volpato (2007) aponta como desvantagem desse processo a baixa qualidade de acabamento e a baixa resistência das peças conformadas, o que reduz em muito suas possíveis aplicações.

### **2.3 Sinterização seletiva a laser (SLS)**

Segundo Gorni (2001), a técnica SLS, patenteada em 1989, usa um raio de laser para fundir e solidificar, camada a camada, materiais pulverulentos, como elastômeros e metais. No processo, o laser varre a camada do material em pó a ser moldado (WANG et al., 2012). Com a incidência do laser, o material funde-se e solidifica-se em uma pequena fatia do modelo. Uma nova camada de material pulverulento é depositada sobre essa fatia e, então, o processo é repetido. A SLS expande as restrições de material usualmente presentes na utilização da prototipagem, podendo ser utilizada para fabricar peças metálicas diretamente, sem necessidade de usinagem posterior.

As vantagens da SLS, segundo Kimble (1992), vão muito além da extensa gama de materiais disponíveis para a produção. Ele aponta inúmeras outras características, como a capacidade de produzir peças de geometria complexa, sem a necessidade de montagem de suportes que, no caso

de outras tecnologias como a SLA, acarreta a perda de precisão. Além disso, o processo de impressão é rápido e os modelos gerados apresentam resistência elevada.

## **2.4 Modelação por extrusão de plástico (FDM)**

O processo de modelação por extrusão de plástico (FDM) constrói objetos por extrusão de polímeros, como ABS e Poliamida, em um sistema que conta com, pelo menos, um cabeçote que se movimenta no plano XY e uma plataforma que se movimenta verticalmente em Z (GRIMM, 2005). Cada cabeçote pode possuir dois bicos; um destes recebe material para a construção do objeto 3D e o outro, para a formação dos suportes, que são os canais ou buracos existentes no projeto. Quando uma camada é finalizada, a plataforma se desloca para baixo formando camadas superpostas até que o objeto seja finalizado.

Segundo Volpato (2007), o material a ser usado como suporte pode ser escolhido através de duas propriedades. Na primeira delas, o material-suporte é mais frágil que a peça e pode ser retirado manualmente com facilidade. Na segunda e mais moderna opção, o suporte pode ser retirado através da imersão em solução líquida aquecida. A necessidade de conformação de suportes, quando estes não são retirados por simples imersão em solução líquida, é apontada por Volpato (2007) como uma desvantagem do processo, pois, em modelos de geometria complexa, isso pode impossibilitar a remoção desse material em excesso. Outras desvantagens também apontadas são a baixa precisão e a baixa velocidade de construção dos modelos. No entanto, mesmo com a qualidade das peças produzidas bastante inferior à de outros processos, como a SLS, o baixo custo do material e a facilidade de operação das máquinas tornaram essa tecnologia responsável pela popularização da prototipagem rápida por adição (KRUTH et al., 1998).

## **2.5 Manufatura de objeto em lâminas (LOM)**

O processo LOM produz peças a partir de papel colado, metal, plástico e outros compostos na forma de finas lâminas (YAN e GU, 1996). As máquinas que utilizam essa tecnologia fazem a união de uma camada de material laminado a uma série de outras lâminas conformadas. Então, um feixe de laser contorna e corta a lâmina na forma explicitada pelo modelo CAD. A união das camadas pode ser feita através de colagem ou de fusão, enquanto o material em excesso, recortado, é removido por sucção.

### 3. Métodos adotados

O presente trabalho é de natureza conceitual visando a proposta de um método de seleção de máquinas de impressão 3D para a fabricação de peças por manufatura aditiva.

O desenvolvimento do trabalho é estruturado em quatro etapas. Na primeira etapa, são levantados os métodos de impressão 3D existentes no mercado brasileiro. Este levantamento é feito por meio da coleta de dados secundários, de acesso público. A segunda etapa compreende o desenvolvimento da lógica de seleção de máquinas de impressão 3D adequadas para a fabricação de determinada peça, com base no AHP (*Analytic Hierarquy Process*). Os resultados da segunda etapa estão documentados no item 3 deste texto). A terceira etapa envolve a definição dos critérios de peça a serem considerados e a construção de uma base de dados com características técnicas das máquinas de impressão 3D disponíveis no mercado. A construção da base de dados é realizada por meio de consulta a brochuras técnicas de fornecedores de máquinas de impressão 3D e da consulta de seus *websites* (item 4). Por fim, na quarta etapa é realizada uma aplicação da solução desenvolvida para uma peça específica (subitem 4.3).

Nos subitens a seguir são apresentados inicialmente os resultados que correspondem à segunda etapa do trabalho – desenvolvimento da lógica de seleção de máquinas de impressão 3D.

#### 3.1 Princípios do AHP

Este subitem apresenta o método AHP e descreve como ele é utilizado na seleção de máquinas de prototipagem rápida. A utilização do AHP se inicia pela decomposição do problema em uma hierarquia de critérios mais facilmente analisáveis e comparáveis de modo independente. A partir do momento em que essa hierarquia lógica está construída, os tomadores de decisão avaliam sistematicamente as alternativas por meio da comparação, de duas a duas, dentro de cada um dos critérios (SAATY, 2008). Essa comparação entre critérios é usualmente realizada com os valores da escala relativa de importância de Saaty (2008), conforme ilustra a Tabela 1.

Tabela 1- Escala relativa de importância de critérios.

Escala	Avaliação Numérica	
		Recíproco
Extremamente preferido	9	1/9
Muito forte e extremo	8	1/8
Muito fortemente preferido	7	1/7
Forte a muito forte	6	1/6
Fortemente preferido	5	1/5
Moderado a forte	4	1/4
Moderadamente preferido	3	1/3
Igual a moderado	2	1/2
Igualmente preferido	1	1

Fonte: adaptado de Saaty (2008).

A escala relativa de importância de Saaty (2008) apresentada na Tabela 1 é utilizada na definição da importância (pesos) dos critérios utilizados. Após a definição dos pesos, é necessário fazer uma comparação dos critérios dois a dois, e o resultado dessa comparação é uma escalada de importância dos critérios, que é utilizada para comparar as alternativas e elaborar um *ranking* das mais adequadas.

### 3.2 Desenvolvimento da solução

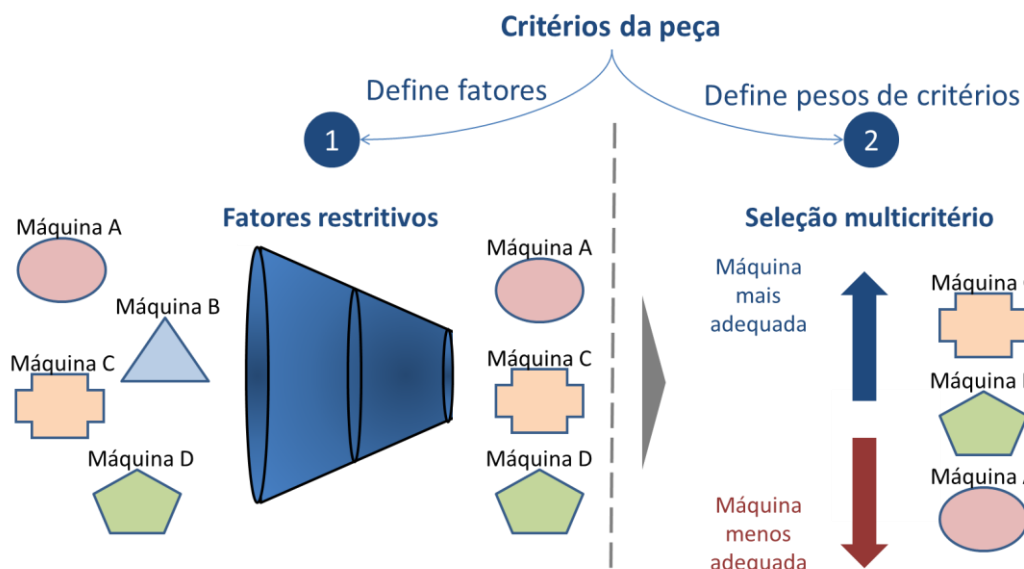


Este subitem apresenta o desenvolvimento do método de seleção do processo de prototipagem rápida a partir de critérios de peças. Primeiramente, é apresentada a lógica da solução desenvolvida, que detalha o fluxo a ser seguido na seleção do processo produtivo. Em seguida, são apresentados os componentes da lógica de solução, que são os fatores restritivos e a seleção multicritério.

### 3.2.1 Lógica da solução

A lógica de solução é baseada no AHP, e tem duas etapas: fatores restritivos, que eliminam máquinas não capacitadas para a fabricação; e seleção multicritério, que ranqueia as máquinas em ordem crescente sendo a primeira do *ranking* a mais adequada para fabricação de determinada peça. A Figura 1 mostra a lógica da seleção do processo de prototipagem rápida a partir de critérios de peças.

Figura 1 - Lógica da seleção do processo de prototipagem rápida.



Fonte: Elaborado pelos autores

Como ilustrado na Figura 1, a seleção do processo de prototipagem rápida compreende a definição de fatores restritivos para fabricação e a seleção multicritério, baseada em peso dos critérios. Os fatores restritivos da peça devem ser comparados com as máquinas existentes, e só as máquinas aprovadas nessa seleção avançam para o próximo passo de seleção multicritério. Os pesos definidos para os critérios da peça são utilizados na seleção multicritério para ranquear as máquinas seguindo a lógica AHP, sendo as melhores ranqueadas as mais adequadas para produzir determinada peça. Os próximos subitens explicam quais são os fatores restritivos e os critérios considerados na seleção multicritério do método desenvolvido.

### **3.2.2 Fatores restritivos**

São considerados fatores restritivos à produção aqueles que impossibilitam a execução do modelo conforme solicitado. No método de seleção do processo de prototipagem rápida desenvolvido, adotou-se como fator restritivo o tamanho máximo de impressão de cada máquina e o material utilizado. Isso significa que, para cada projeto, as alternativas (máquinas) consideradas na seleção por multicritério serão apenas aquelas que comportarem o tamanho da peça e o material requisitado.

### **3.2.3 Seleção multicritério**

Para realizar a seleção por multicritério é necessário, primeiramente, determinar uma lista de critérios a serem utilizados. Os critérios considerados no método de seleção desenvolvido são os critérios das peças a serem produzidas. Para cada peça é necessário elaborar uma matriz de comparação de importâncias utilizando os critérios definidos, cuja lógica é anteriormente descrita. Estabelecida a importância dos critérios, deve-se avaliar como cada alternativa (máquina) se comporta em relação aos critérios definidos. Isso é feito através da comparação, duas a duas, das alternativas dentro de cada critério. O resultado da seleção multicritério é um ranking das máquinas de impressão 3D mais adequadas para a fabricação da peça em questão.

O próximo item apresenta as máquinas estudadas neste trabalho e a construção de uma base de dados de máquinas, resultante do estudo, que permite a seleção destas por fatores restritivos, e também apresenta os critérios de peças selecionados para a seleção multicritério.

#### 4. Levantamento de dados de máquinas e seleção de critérios de peças

Este item apresenta o levantamento de dados das características técnicas das máquinas de prototipagem rápida por manufatura aditiva existentes no mercado que são utilizadas para realizar a seleção por fatores restritivos. Este item também discute os critérios de peças que devem ser levados em consideração para a seleção multicritério da máquina mais adequada para fabricar determinada peça.

##### 4.1 Base de dados de máquinas

Neste subitem são apresentadas as características técnicas analisadas as máquinas de impressão 3D e também são listadas as 25 máquinas analisadas, sendo elas segmentadas por tipo de uso (pessoal, profissional e industrial). Também é apresentado um exemplo da avaliação de uma máquina de impressão 3D. O resultado completo da análise é uma base de dados contendo as máquinas existentes e as características técnicas de cada uma. A

Tabela 2 apresenta a descrição e a unidade de medida das características técnicas analisadas em 25 máquinas de impressão 3D.

Tabela 2 – Características técnicas, unidade e descrição das máquinas de impressão 3D.

<b>Características técnicas</b>	<b>Unidade</b>	<b>Descrição</b>
Tecnologia	-	Tipo de tecnologia de manufatura aditiva da máquina
Materiais de impressão	-	Materiais suportados pela máquina
Tamanho de impressão	mm X mm X mm	Dimensões máximas da peça

Peças multicoloridas	Booleana	Imprime ou não imprime peças multicoloridas
Resolução	DPI	Resolução máxima da impressão
Espessura da camada	mm	Espessura mínima da camada de impressão
Precisão	mm	Distância mínima entre uma camada e outra
Velocidade de impressão	mm/h	Velocidade máxima de adição de material
Especificações de energia	V, A, W	Voltagem, corrente e potência necessárias para funcionar
Tamanho	mm X mm X mm	Dimensões da máquina
Peso	Kg	Peso da máquina
Preço	R\$	Preço da máquina

Fonte: Elaborado pelos autores

A Tabela 3 apresenta as máquinas analisadas, segmentadas por tipo de uso.

Tabela 3 - Máquinas de impressão 3D analisadas.

<b>Uso pessoal</b>	<b>Uso profissional</b>	<b>Uso industrial</b>
Mojo 3D Printer (Stratasys)	Dimension Elite 3D (Stratasys)	Fortus 250mc (Stratasys)
uPrint SE (Stratasys)	Dimension SST/BST 1200es (Stratasys)	Fortus 360mc (Stratasys)
uPrint SE Plus (Stratasys)	Zprinter 150 (3D Systems)	Fortus 400mc (Stratasys)
3DTouch™ 3D Printer (3D Systems)	Zprinter 250 (3D Systems)	Fortus 900mc (Stratasys)
RapMan 3.2 (3D Systems)	Zprinter 350 (3D Systems)	Víper Pro (3D Systems)
ProJet™ 1000 (3D Systems)	Zprinter 450 (3D Systems)	Sinterstation HIQ (3D Systems)
ProJet™ 1500 (3D Systems)	Zprinter 650 (3D Systems)	
Cliever CL-1 (Cliever)	Zprinter 850 (3D Systems)	
Metamáquina 2	ProJet™ 3500 (3D Systems)	
	ProJet™ 5000 (3D Systems)	

Fonte: Elaborado pelos autores.

As 25 máquinas selecionadas (A Tabela 3 apresenta as máquinas analisadas, segmentadas por tipo de uso.

**Tabela 3)** foram avaliadas a partir de suas especificações técnicas (

Tabela 2), de forma a constituir o banco de dados de máquinas para a aplicação do método proposto.

#### 4.2 Critério de peças

Este subitem apresenta os principais critérios de peças que devem ser levados em consideração no ranqueamento da máquina de impressão 3D mais adequada para produzir determinada peça e para a seleção multicritério. Para isso, foram utilizados os critérios de peças propostos por Raulino (2011) para a comparação de tecnologias de prototipagem rápida. Os critérios considerados foram os seguintes: variedade de materiais, qualidade superficial, pós-acabamento, precisão, resistência ao impacto, resistência a flexão, custo do protótipo, e pós-cura. A partir dos critérios de peças propostos e do estudo das tecnologias de impressão 3D existentes foi feita uma avaliação das tecnologias de acordo com cada critério.

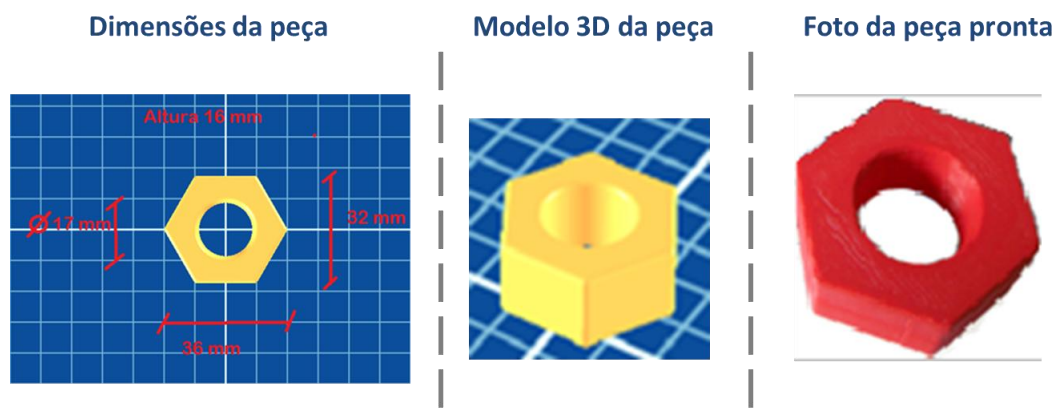
A avaliação das tecnologias segundo os critérios de peças é utilizada para comparar as tecnologias segundo cada critério na seleção multicritério, como proposto anteriormente. A importância relativa de cada um desses critérios varia de projeto a projeto, de acordo com as necessidades do usuário da peça que será fabricada.

#### 4.3 Aplicação do método para escolha do processo de fabricação de uma porca

Este subitem apresenta a aplicação do método para escolha da máquina de impressão 3D mais adequada para fabricar uma porca com as dimensões de 16mm X 32mm X 36mm e material

plástico ABS. A dimensão da peça não é limitante para nenhuma das máquinas avaliadas. O material plástico ABS limita a máquinas que utilizam o processo FDM. Após aplicação da seleção multicritério para as máquinas qualificadas, uma das máquinas adequadas foi a Meta máquina 2, na qual então foi fabricada a porca apresentada na Figura 2.

Figura 2 - Modelo 3D da porca e peça impressa na Metamáquina.



Fonte: Elaborada pelos autores.

## 5. Conclusões

O trabalho apresenta o desenvolvimento de um método de seleção do processo de prototipagem rápida por manufatura aditiva a partir de critérios de peças.

A lógica de seleção do método apresentado é derivada do AHP, que propõe a seleção de uma alternativa (no caso da máquina de impressão 3D) a partir da comparação de critérios definidos. Os critérios definidos são de dois tipos: as tecnologias existentes no mercado, que determinam fatores restritivos na escolha da máquina; e os critérios de peças, que são utilizados para ranquear a máquina mais adequada para fabricação. Os fatores restritivos adotados pelo método desenvolvido são tamanho e material da peça, que devem então ser comparados com tamanho máximo de impressão e material de impressão das tecnologias existentes, respectivamente. O método utiliza como informação o banco de dados de 25 máquinas de impressão 3D para possibilitar a seleção da máquina mais adequada.

Os resultados obtidos na aplicação prática do método demonstram que a resposta é adequada. Nota-se que o fator restritivo material para fabricação do protótipo tem papel preponderante na seleção da tecnologia de impressão, uma vez que as tecnologias de impressão em geral estão relacionadas com materiais específicos. Uma limitação do método é ainda não prever a possibilidade de contornar o fator restritivo tamanho da peça por meio da fabricação de mais de uma peça com montagem para formar a peça final – nos casos em que isso é aceitável para o protótipo. Tal melhoria deve ser considerada em trabalhos futuros. Como trabalhos futuros sugere-se ainda o desenvolvimento de sistema de apoio à decisão com base na lógica desenvolvida e na base de dados de máquinas.

## REFERÊNCIAS

ARTIS. Tecnologias de prototipagem: Estereolitografia (SLA). Clínica de Odontologia Integrada Artis, Brasília/DF. Disponível em: <<http://www.artis.com.br>>. Acesso em 30 de agosto de 2012.

BARIFOUSE, R. A Nova Revolução Industrial. **Revista Época**. p. 52-58, Outubro, 2012.

BERGER, J. Grandes Fábricas são Divididas em Dezenas de Pequenas Manufaturas. The New York Times. Disponível em < <http://folha.com/no1179531>>. Acessado em 14/11/2012.

BROWN, T. **Change by Design: How Design Thinking Transforms Organizations and Inspires Innovation**, Harper Collins e-books, 2009.

GORNI, A.A. Introdução à Prototipagem Rápida e Seus Processos. **Revista Plástico Industrial**, v. 3, n. 31, p.230-239. 2001.

GRIMM, T. **Choosing the Right RP System: A study of seven RP systems**, 2005.

KIMBLE, L.L. The materials advantage of the SLS Selective Laser Sintering process, DTM Corporation, 1992.

KRUTH, J.P.; LEU, M.C.; NAKAGAWA, T. Progress in Additive Manufacturing and Rapid Prototyping, **CIRP Annals – Manufacturing Technology**, v. 47, n. 2, p. 525-540, 1998.

LINO, F.J.; NETO, R.J. **A Prototipagem na Indústria Nacional**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), 2000. Disponível em <http://paginas.fe.up.pt/~falves/Prototipagem.pdf>. Acesso em 02 de maio de 2013.

MARTINS, J.R. Manufatura Rápida – Avaliação das tecnologias de impressão 3D e FDM na fabricação de moldes rápidos. 2005. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)** – Escola de Engenharia de São Carlo, USP, São Carlos, 2005.

RAULINO, B.R. Manufatura aditiva: Desenvolvimento de uma máquina de prototipagem rápida baseada na tecnologia FDM (Modelagem por fusão e deposição). 2011. **Dissertação (Graduação em Engenharia de Produção)** – Universidade de Brasília, UnB, Brasília, 2011.

SAATY, T.L. Decision making with the analytic hierarchy process, **International Journal of Services Sciences**, v. 1, n. 1, p.83–98, 2008.

STRATASYS, Mojo 3D Printer. Mojo System Specifications. Disponível em: <[http://www.mojo3dprinting.com/resources/docs/Mojo\\_3D\\_Printer\\_Spec\\_Sheet.pdf](http://www.mojo3dprinting.com/resources/docs/Mojo_3D_Printer_Spec_Sheet.pdf)>. Acesso em 5 de novembro de 2012.

THE ECONOMIST, The third industrial revolution – special report. **The Economist**, v. 403, n. 8781, 2012.

VARGAS, R.V. Utilizando a Programação Multicritério (AnalyticHierarchyProcess – AHP) para selecionar e priorizar projetos na Gestão de Portfólio. **PMI Global Congress 2010** – North America, Washington DC, 2010.

VOLPATO, N. **Prototipagem Rápida – Tecnologias e Aplicações**. 1 ed. São Paulo: Edgar Blücher, v. 1, p. 1-15, 2007.

VISIJET®. ProJet 3500 and 5000 Printer Materials. Disponível em: <<http://printin3d.com/3d-printer-materials/projet-3500-5000-3d-printer-materials>>. Acesso em 2 de janeiro de 2013.

WANG, G.; CAO, W.; CHEN, G.; NIU, G.; ZHANG, D. Application of Rapid Prototyping Technology in Equipment Parts Rapid Manufacturing, **3rd International Conference on System Science, Engineering Design and Manufacturing Informatization**. Mechanical Technology Research Institute, Mechanical Engineering College. Shi Jiazhuang, China, 2012.

WHOLERS. Wholers report 2012: Additive Manufacturing and 3D printing state of the industry. **Annual worldwide progress report**, 2012

XU, G.; ZHAO, W.; TANG, Y.; LU, B. Novel stereolithography system for small size objects, **Rapid Prototyping Journal**, v. 12, n. 1, p. 12-17, 2006.



YAN X.; GU, P.A review of rapid prototyping technologies and systems. **Computer-Aided Design**, v. 28, n, 4, p. 307-316. 1996.